稻田氮肥施用量对黑肩绿盲蝽捕食功能的影响

吕仲贤[1]，俞晓平[1]，HEONG Kong-Luen[2]，胡 萃[3]
(1. 浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所，杭州 310021；2. 国际水稻研究所，DAPO Box7777，马尼拉；
3. 浙江大学应用昆虫学研究所，杭州 310029)

摘要：在实验室条件下研究了黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter 在不同含氮量稻株上对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål 卵和低龄若虫的捕食能力、对褐飞虱卵的捕食功能反应以及褐飞虱蜜露和水稻伤流液对其捕食能力的影响。结果表明，黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵和若虫的捕食量均与寄主植物的含氮量呈显著负相关。黑肩绿盲蝽在相同氮肥施用量的稻株上连续饲养 2 代后对褐飞虱卵的捕食能力没有改变。黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的功能反应呈 Holling Ⅱ型方程，其参数瞬时发现率(a)和处置时间(T_h)只与寄主含氮量有关，而与黑肩绿盲蝽种群和褐飞虱卵的来源无关。在高氮量稻株上黑肩绿盲蝽种群对褐飞虱卵的瞬时发现率(a)下降导致了功能反应的减弱，而在相同含氮量稻株上黑肩绿盲蝽种群之间的捕食功能没有明显差异。黑肩绿盲蝽成虫取食水稻伤流液和褐飞虱蜜露时寿命明显延长，取食高氮稻株的褐飞虱分泌的蜜露对延长黑肩绿盲蝽雌成虫寿命的作用最大。但是，在高氮稻株上褐飞虱蜜露显著降低黑肩绿盲蝽的捕食能力。这些结果表明黑肩绿盲蝽对褐飞虱自然控制作用的下降是稻田过量施用氮肥后褐飞虱种群增加的主要原因之一。

关键词：黑肩绿盲蝽；褐飞虱；水稻；氮肥；捕食功能
中图分类号：Q968 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2005)01-0048-09

Effects of nitrogenous fertilization in rice fields on the predatory function of *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter to *Nilaparvata lugens* Stål

LU Zhong-Xian[1]，YU Xiao-Ping[1]，HEONG Kong-Luen[2]，HU Cui[3] (1. Zhejiang Academy of Agricultural Sciences，Hangzhou 310021，China；2. International Rice Research Institute，DAPO Box 7777，Metro Manila，Philippines；3. Institute of Applied Entomology，Zhejiang University，Hangzhou 310029，China)

Abstract：The predatory capacities and functional responses of the mirid bug，*Cyrtorhinus lividipennis* Reuter，on the brown planthopper (BPH)，*Nilaparvata lugens* Stål，on rice plants with different nitrogen contents and the effects of the rice sap and BPH honeydew on its predatory function were determined in the laboratory at International Rice Research Institute (IRRI)，Philippines. The results showed that the predatory capacities of *C. lividipennis* on BPH eggs and young nymphs were negatively related to the nitrogen content of host plants，while no significant difference in predatory capacities was recorded between *C. lividipennis* populations successively fed on host plants applied with 0 kg N/ha and 200 kg N/ha nitrogen fertilizer for 2 generations. The functional responses of *C. lividipennis* populations on BPH eggs belonged to typical Holling II，and the instantaneous rate of discovery (a) and handling times (T_h) were strongly affected by nitrogen contents in host plants. The instantaneous rate of discovery reduced obviously resulted in the lower functional responses on the host plants applied with high nitrogen rate；however，the similar response shapes of different populations were found on the plants with the same nitrogen regime. Furthermore，the influences of rice sap from the plants and honeydew of the BPH females fed on the plants with high nitrogen regime on the extension of longevities of the adults of *C. lividipennis* were higher than those on the plants with low nitrogen regime. However，the honeydew of BPH on the plants with high nitrogen regime significantly decreased the predatory capacity of *C. lividipennis* on BPH eggs. These results implied that the reduction of *C. lividipennis* natural control function should be one of the crucial factors to induce the outbreak of BPH population in rice fields applied with excessive nitrogenous fertilizer.

Key words：*Cyrtorhinus lividipennis*；*Nilaparvata lugens*；rice；nitrogenous fertilization；predatory function

---

基金项目：本文为第一作者在国际水稻研究所研究期间的部分研究内容
作者简介：吕仲贤，男，1963 年出生，博士，主要从事昆虫生态学和生理学研究，E-mail：luzxmh2004@yahoo.com.cn
收稿日期 Received：2004-07-02；接受日期 Accepted：2004-12-22

20 世纪 60 年代“绿色革命”浪潮的掀起，农民为了增加水稻产量而大面积连续施用广谱性杀虫剂和以氮肥为主的化学肥料。除不加选择地喷施广谱性杀虫剂直接导致稻飞虱(包括褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål 和白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth))种群的再猖獗(Heinrich *et al.*, 1984; Cohen *et al.*, 1994; Gallagher *et al.*, 1994; Way and Heong, 1994; Matteson, 2000; Symondson *et al.*, 2002)外，引起稻飞虱从次要害虫转变为主要害虫的另一个重要原因是稻田连续过量施用氮肥(Cheng, 1971; Dyck and Thomas, 1979)。水稻田施用氮肥后不仅改善了植食性昆虫的营养条件，而且改变了天敌的生境及其对猎物或寄主的可获得性，最终影响水稻生态系统中整个节肢动物的食物网和食物链。因此，稻株形态和生理的变化及其对害虫和天敌种群的作用严重影响了 3 个营养层之间的关系(Cheng, 1971; Dyck and Thomas, 1979; 胡建章等, 1986; Simpson *et al.*, 1994; Schoenly *et al.*, 1996; De Kraker *et al.*, 2000; Preap *et al.*, 2001)，影响了天敌对害虫的自然控制功能。迄今，温度、寄主植物、猎物、农药和生境条件等对黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter 控制稻田害虫功能的影响已有许多报道(Heong and Domingo, 1992; 陈建明等, 1994; Heong *et al.*, 1995; Yu *et al.*, 1996; Song and Heong, 1997; Lou and Cheng, 2001; Claridge *et al.*, 2002)，但氮肥施用量对黑肩绿盲蝽捕食褐飞虱功能的影响尚未见报道。因此，过量施用氮肥引起褐飞虱暴发的生态学机理并没完全清楚，氮肥施用后对整个生态系统的正面或负面影响还没有象农药对生态系统的影响那样得到科学评价。

为了合理、公正地评价氮肥对整个稻田生态系统的影响，我们在实验室条件下研究了褐飞虱的主要捕食性天敌黑肩绿盲蝽在不同含氮量稻株上对褐飞虱卵和低龄若虫的捕食能力、对褐飞虱卵的功能反应以及褐飞虱蜜露和水稻伤流液对其捕食能力的影响。

1　材料和方法

1.1　寄主稻株和试验昆虫

感虫水稻品种 TN1 和中抗水稻品种 IR64 均由国际水稻研究所(IRRI)种质资源研究中心提供。水稻种子每隔 15 天播种 1 次，以保证有足够的寄主植物供褐飞虱饲养和各阶段试验用。3～4 株 10 日龄的秧苗移栽在装有花园土的陶钵(φ14 cm)中。对于 IR64，根据土壤体积计算氮肥的施用量，使其形成 200, 100, 50 和 0 kg / hm^2 的 4 个氮肥施用量梯度。以尿素作为氮肥，用特制的系列小容器定量尿素，分别于移栽后 7 天、分蘖盛期和孕穗初期施用总氮量的 30%, 30% 和 40%，形成不同含氮量的水稻植株，分别标记为 200N, 100N, 50N 和 0N。整个水稻生育期不用任何农药，常规水管理。对于 TN1，正常氮肥施用量和水管理，氮肥施用量约 100～130 kg/hm^2。

褐飞虱和黑肩绿盲蝽成虫均采自菲律宾 Laguna 省的稻田。褐飞虱饲养在含有 45～60 日龄 TN1 苗的产卵笼 (50 cm×38 cm× 80 cm) 内交配产卵。每周一和周四放入新鲜的稻苗，24 h 后取出产卵苗，移入相同大小的饲养笼内，连续饲养作为虫源。

为了在不同含氮量水稻上培养不同的褐飞虱种群，将刚从 TN1 水稻上羽化的褐飞虱成虫接入含有 45～60 日龄 IR64 稻株的养虫笼内，分别用 0N 和 200N 施氮水平的稻苗饲养，取出产卵苗。每周一和周四分别更换新鲜的、不同含氮量的 IR64 稻苗，连续饲养。下一代以后初孵若虫分别记为 G1 和 G2。不同含氮量水稻上饲养出的种群分别按氮肥水平和世代数标记，如在施氮肥为 200 kg N/ha 的稻株上连续饲养第 2 代的褐飞虱种群为 200NG2。用相同的方法连续饲养黑肩绿盲蝽，不同含氮量水稻上饲养出的黑肩绿盲蝽种群名称分别标记，如在施氮肥为 200 kg N/ha 的稻株上连续饲养第 2 代的黑肩绿盲蝽为 200NF2。

1.2　稻株含氮量测定

叶绿素含量测定仪(SPAD-502, 日本 Konica Minolta 公司生产)是一种可靠、简便、快速和非破坏性的叶片叶绿素含量测定仪，根据其测定数据可以准确地估测植株的即时含氮量。在实验前，所有稻株都测定叶片叶绿素含量(以 SPAD 值代表)，并用标签表明，如果实验时间超过 1 周，则在实验结束后再测 SPAD 值 1 次，以 2 次的平均数作为稻株的氮含量。为了确定叶绿素含量与植株含氮量的关系，每个水稻生育期，在上午 9:00～12:00，随机取不同氮肥施用量(200, 100, 50 和 0 kg / ha)的稻株各 8 盆。取顶端的全展叶(1.5 叶龄)，在叶片中部和上、下各 3 cm 处分别沿中脉测定叶绿素含量(以 SPAD 值显示)3 次，取平均值。将已测定叶绿素含量的叶片分别在 110℃下杀青 30 min，然后在 80℃下干燥至恒重，用微量凯氏法测定稻株氮含量，得稻株氮含量

与 SPAD 值的关系式为：

$$N\% = 0.1151\ \text{SPAD} - 1.2772\ (R^2 = 0.6532,\ P < 0.01) \quad (1)$$

1.3 黑肩绿盲蝽捕食褐飞虱卵的能力

1.3.1 在不同含氮量稻株上对褐飞虱卵的捕食能力：取不同氮肥施用量(200N、100N、50N 和 0N)、生长均匀的 45 日龄的稻苗各 8 盆，修剪成 2 个分蘖后测定 SPAD 值，按(1)式求得相应含氮量，分别用塑料笼罩住。每笼内接入 3 头(200N 和 100N 稻株)或 5 头(50N 和 0N 稻株)怀卵褐飞虱成虫，产卵 24 h 后除去飞虱，再接入 1 头 24 h 内羽化的、饲养在 TN1 稻株上的黑肩绿盲蝽雌成虫。24 h 后解剖叶片和叶鞘，考查被捕食褐飞虱卵的数量。

1.3.2 不同黑肩绿盲蝽种群捕食褐飞虱卵的能力：将 45 日龄的高氮(200N)和低氮(0N)稻株连根拔起，清洗根部后单株分开，剪去无活力须根后单株放入试管(φ2.5 cm，H 20 cm)。在每试管接入 5 头(200N 稻株)或 8 头(0N 稻株)怀卵褐飞虱雌成虫，接虫后试管用棉花封口。24 h 后除去褐飞虱成虫，每稻株产卵 120 粒左右。试管中接入 1 头刚羽化的黑肩绿盲蝽雌成虫。3 天后解剖稻株检查被捕食的褐飞虱卵量。实验室温度为 26±2 ℃。每褐飞虱种群处理重复 8 次。

1.4 黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的捕食功能反应

将盆苗修剪成 1 主茎和 1 分蘖，罩上塑料笼。在高氮稻株(200N)上按 2、4、8、12 和 16 头/盆的密度，在低氮稻株(0N)上按 4、8、12、16 和 24 头/盆的密度分别接入怀卵褐飞虱成虫，产卵 24 h 后除去成虫，得带不同褐飞虱卵密度的稻苗。每密度重复 10 次。每笼内接入 12 h 内羽化的黑肩绿盲蝽雌成虫 1 头。24 h 后去除黑肩绿盲蝽，解剖稻株考查被黑肩绿盲蝽捕食的褐飞虱卵量。

1.5 黑肩绿盲蝽对褐飞虱若虫的捕食能力

在水稻分蘖期和抽穗期，每个氮肥水平(200N、100N、50N 和 0N)分别取稻苗 16 盆，修剪成 4 个分蘖后测定主茎的 SPAD 值，分别罩上塑料笼。每笼接入 30 头刚孵化的褐飞虱若虫。其中 8 盆各接入 1 头 12 h 内羽化的黑肩绿盲蝽雌成虫，另 8 盆作为对照。10 天后检查存活的褐飞虱若虫数。

在水稻分蘖期各取高氮(200N)和低氮(0N)稻苗 24 盆，除去外部叶鞘后分别罩上塑料笼。每笼接入 30 头刚孵化的褐飞虱若虫。再将 24 盆苗分成 3 组，其中 2 组分别接入 12 h 内羽化的、在高氮或低氮稻株上连续饲养 2 代的黑肩绿盲蝽雌成虫，每盆 1 头，第 3 组不接黑肩绿盲蝽作为对照。10 天后检查存活褐飞虱若虫的数量。

1.6 稻株伤流液和褐飞虱蜜露对黑肩绿盲蝽成虫寿命和捕食能力的影响

取 60 日龄的钵苗，除去外叶鞘后斜置。24 h 后用经酒精消毒的剪刀在离土 10 cm 处剪去主茎上半部分，然后套上 10 cm 长的试管并用 parafilm 蜡膜封口。48 h 后收集伤流液。取同样的稻苗，除去外叶鞘后在主茎中部固定 parafilm 小袋，接入 24 h 内羽化的褐飞虱雌成虫 2 头，封口。48 h 后收集褐飞虱蜜露。

在试管内各放入 1 个浸泡 45 日龄稻株的伤流液或褐飞虱蜜露的棉花球，以不滴水为标准。每支试管内接入 10 头在 24 h 内羽化的黑肩绿盲蝽雌成虫或雄成虫。试验在 26±2 ℃下进行，每个处理重复 3 次。每隔 6 h 检查成虫的存活数。以喂蒸馏水的处理为对照，计算取食伤流液和褐飞虱蜜露时成虫寿命的延长时间。

将 45 日龄的稻苗修剪成 1 个主茎，用塑料笼罩住后接入 5 头(200N 稻株)或 8 头(0N 稻株)怀卵的褐飞虱成虫产卵 24 h。分别进行 3 个处理：(1)只有褐飞虱卵；(2)褐飞虱雌成虫和卵共存；(3)褐飞虱卵 + 含褐飞虱蜜露的棉花球(棉球夹在叶鞘与主茎之间)。每个处理接入 1 头 24 h 内羽化的黑肩绿盲蝽雌成虫，在 26±2 ℃下捕食 24 h。解剖稻株考查被取食褐飞虱卵的数量。每处理重复 10 次。

1.7 数据分析

对百分率数据先进行反正弦转化、计数资料用对数转化后进行统计。在 IRRISTAT 4.0 for Windows 上进行直线回归分析。方差分析(ANOVA)和 LSD 测定在 SAS(1990) PROC ANOVA 或 PROC GLM 进行。根据方程 $Na = Nt \times [1 - \exp\{-a \times (1 - T_h \times Na)\}]$ 拟合黑肩绿盲蝽的功能反应。参数 a 和 T_h 在 SAS 上应用 PROC NLIN 进行拟合(SAS institute, 1999)。

2 结果与分析

2.1 黑肩绿盲蝽种群对褐飞虱卵的捕食能力

24 h 内黑肩绿盲蝽捕食的褐飞虱卵量与寄主植物的含氮量显著相关，捕食量随寄主含氮量增加而下降(图 1)。不同黑肩绿盲蝽种群对褐飞虱卵的捕食作用只与寄主稻株的氮肥施用量有关($P < 0.01$)，2 个黑肩绿盲蝽种群在低氮稻株上的捕食量

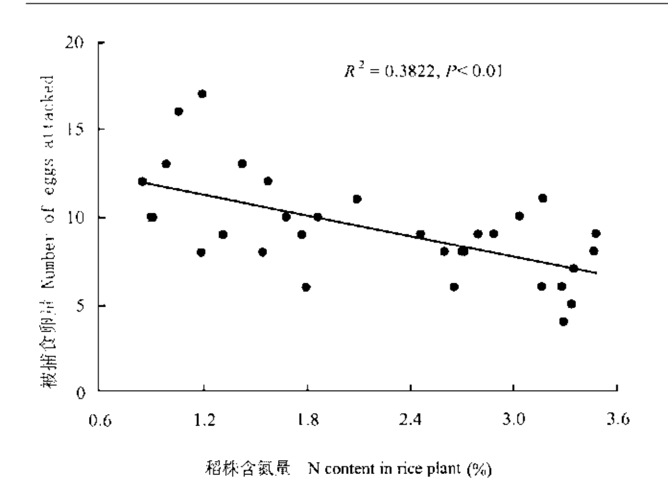


图 1 黑肩绿盲蝽种群在不同含氮稻株上对褐飞虱卵的捕食量

Fig. 1 Number of brown planthopper (BPH) eggs predated by *Cyrtorhinus lividipennis* on rice plants with different contents of nitrogen

和捕食率均显著高于在高氮稻株上的相应值($P < 0.01$)(表 1)。方差分析表明,黑肩绿盲蝽种群及其与寄主植物的交互作用均不显著($P > 0.10$)。说明黑肩绿盲蝽在不同含氮稻株上连续饲养 2 代后的对褐飞虱卵的捕食作用没有改变。

2.2 黑肩绿盲蝽捕食褐飞虱卵的功能反应

黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的功能反应属于典型的 Holling Ⅱ型方程(图 2)。根据 Rogers 随机捕食方程估计的瞬间发现率(a)和处置时间(T_h)以及其他相关参数均能很好地拟合试验数据,所有 R^2 值均达到极显著水平($P < 0.01$)(表 2)。在高氮稻株上黑肩绿盲蝽种群对褐飞虱卵的捕食能力均明显低于在低氮稻株上的捕食能力(图 2)。

连续饲养在感虫水稻品种 TN1 和在高氮或低氮的 IR64 稻株上饲养 2 代的黑肩绿盲蝽种群对褐飞虱卵捕食的 a 和 T_h 只与当时的寄主水稻含氮量有关,而与黑肩绿盲蝽种群和褐飞虱卵的来源无关。当时的寄主稻株含氮量高,黑肩绿盲蝽捕食褐飞虱卵的 a 值小,T_h 相对较长,导致其捕食功能减弱(图 2:B, D, F),说明黑肩绿盲蝽的捕食功能受到稻株含氮量的严重抑制,而在相同含氮稻株上黑肩绿盲蝽种群之间的捕食功能没有明显差异。

表 1 不同黑肩绿盲蝽种群在不同氮肥施用量稻株上对褐飞虱卵的捕食作用

Table 1 Predation of *C. lividipennis* populations on BPH eggs on rice plants applied with different amounts of nitrogenous fertilizer

	0NF2		200NF2	
	0N	200N	0N	200N
捕食量(卵数/天) Number of BPH eggs attacked/d	20.8 ± 4.3 A	14.4 ± 1.5 C	17.6 ± 2.5 B	14.1 ± 2.0 C
捕食率 Predatory rate (%)	19.99 ± 3.11 A	8.12 ± 2.33 C	15.68 ± 3.2 B	7.56 ± 1.63 C

表中数据是平均值 ± 标准误,数据后有不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$) Data are given as means ± *SE*, and the data followed by the different capital letters are significantly different at $P < 0.01$ by LSD; 0NF2, 200NF2: 分别在施肥量为 0 kg N/ha 和 200 kg N/ha 的 IR64 稻株上连续饲养的第 2 代黑肩绿盲蝽 Second generation of *C. lividipennis* populations successively maintained on IR64 rice plants applied with 0 kg N/ha and 200 kg N/ha, respectively; 0N, 200N: 分别为施肥量为 0 kg N/ha 和 200 kg N/ha 的 IR64 稻株 IR64 rice plants applied with 0 kg N/ha and 200 kg N/ha, respectively. 后同 The same for the following tables and figures.

2.3 黑肩绿盲蝽对褐飞虱若虫的捕食能力

在不同含氮量稻株上黑肩绿盲蝽对褐飞虱若虫的捕食量与寄主水稻的含氮量极显著相关,随寄主植物含氮量的增加,黑肩绿盲蝽对褐飞虱若虫的捕食量显著减少,而且 2 个水稻生育期的结果相似(图 3)。不同的黑肩绿盲蝽种群对褐飞虱若虫的捕食量和捕食率只与寄主含氮水平有关,不论黑肩绿盲蝽来自何种寄主稻株,在低氮稻株上对褐飞虱若虫的捕食量均高于在高氮稻株上的捕食量(表 3)。ANOVA 分析表明,黑肩绿盲蝽种群及其与寄主植物的交互作用对捕食量的影响均不显著($P > 0.05$)。

2.4 稻株伤流液和褐飞虱蜜露对黑肩绿盲蝽捕食能力的影响

稻株伤流液和褐飞虱蜜露显著影响黑肩绿盲蝽成虫寿命,与取食蒸馏水(对照)的黑肩绿盲蝽成虫相比,取食伤流液和蜜露的成虫寿命明显延长,而蜜露的作用又大于伤流液。取食高氮稻株的褐飞虱所分泌的蜜露对延长黑肩绿盲蝽的雌成虫寿命的作用最大(图 4)。结果还表明高氮稻株通过伤流液和褐飞虱蜜露对黑肩绿盲蝽成虫的营养比低氮稻株的高。方差分析结果表明,食物类型和寄主植物含氮量对黑肩绿盲蝽的雌成虫寿命影响均极显著($P < 0.01$)。但是,取食高氮稻株上褐飞虱蜜露或有雌成虫存在的情况下的黑肩绿盲蝽的捕食能力却显著下降(图 5)。

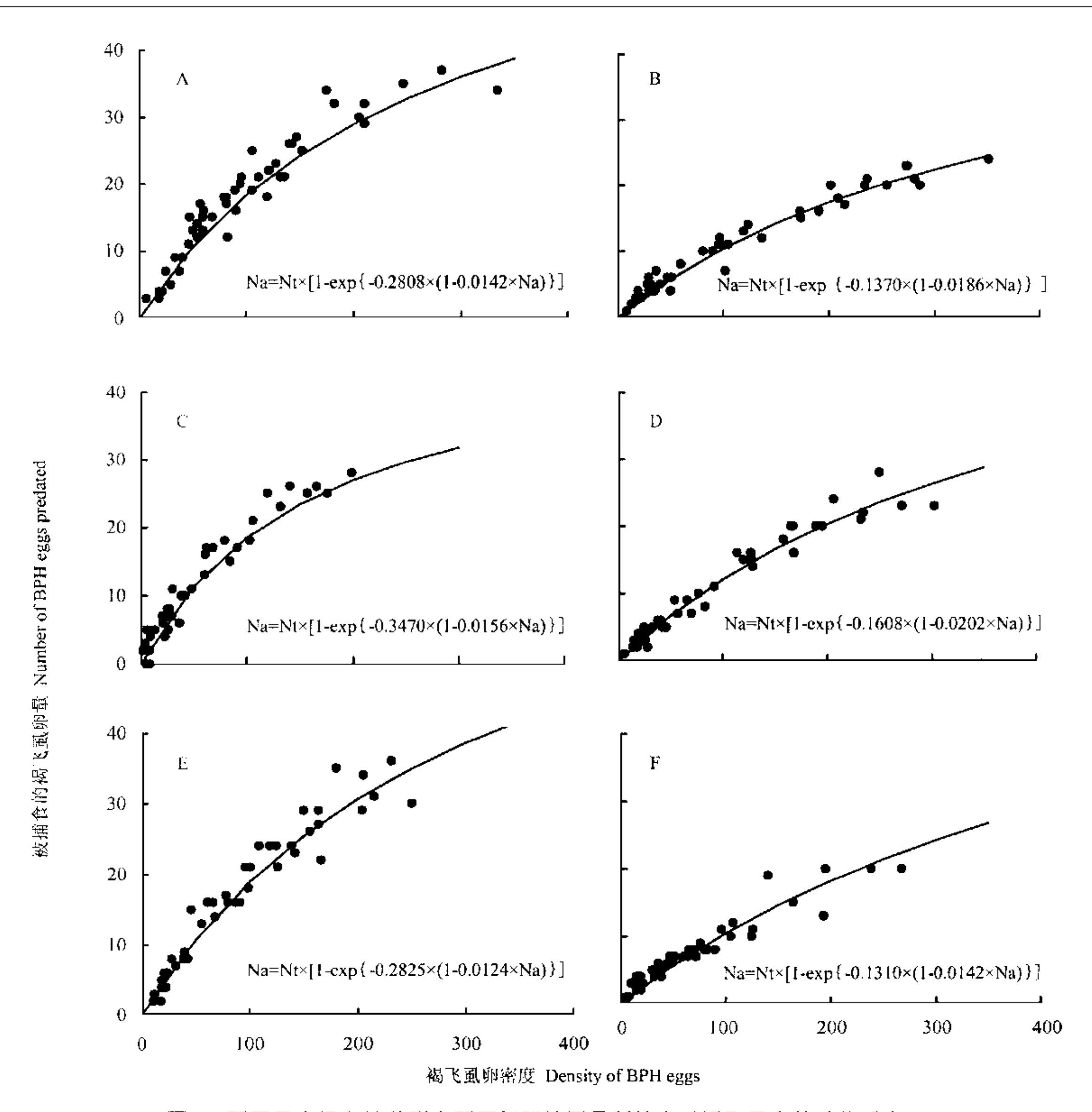


图2 不同黑肩绿盲蝽种群在不同氮肥施用量稻株上对褐飞虱卵的功能反应

Fig. 2 Functional response of *C*. *lividipennis* populations on BPH eggs on rice plants applied with different amounts of nitrogenous fertilizer

A: 原在TN1水稻上生活的盲蝽成虫在施肥量为0 kg N/ha的IR64稻株上捕食由连续饲养在TN1上的褐飞虱产的卵。Adult *C*. *lividipennis* from population on TN1 rice attacking eggs of BPH (from population reared on TN1 rice) on IR64 rice applied with 0 kg N/ha.

B: 除IR64水稻施肥量为0 kg N/ha外,同A。The same as A except IR64 rice with 200 kg N/ha applied.

C: 原在TN1水稻上生活的盲蝽成虫在施肥量为0 kg N/ha的IR64稻株上捕食由连续饲养在施肥量为0 kg N/ha的IR64稻株上2代的褐飞虱雌成虫产的卵。Adult *C*. *lividipennis* from population on TN1 rice attacking eggs of BPH (from population of 2nd generation on IR64 rice plant with 0 kg N/ha) on IR64 rice with 0 kg N/ha applied.

D: 除IR64稻株施肥量为200 kg N/ha外,同C。The same as C except IR64 rice with 200 kg N/ha applied.

E: 原在施肥量为0 kg N/ha的IR64稻株上连续饲养2代的盲蝽成虫,在施肥量为0 kg N/ha的IR64稻株上捕食由连续饲养在施肥量为0 kg N/ha的IR64稻株上2代褐飞虱雌成虫产的卵。The 2nd generation of *C*. *lividipennis* from population on IR64 rice with 0 kg N/ha applied attacking eggs of BPH (from population of 2nd generation on IR64 rice with 0 kg N/ha applied) on IR64 with 0 kg N/ha applied.

F: 除IR64稻株施肥量为200 kg N/ha外,同E。The same as E except IR64 rice with 200 kg N/ha applied.

表 2　黑肩绿盲蝽捕食褐飞虱卵的功能反应参数 a 和 T_h

Table 2　Parameters *a* and T_h of functional response of *C. lividipennis* predating on BPH eggs estimated from the random predator model on different varieties of host rice

黑肩绿盲蝽 *C. lividipennis*	褐飞虱卵 BPH eggs	稻株 Host plants		参数 Parameters	R^2	P
饲养在 TN1 稻株 Maintained on TN1	在 TN1 上 on TN1	IR64，0N	a T_h	0.2808 ± 0.0259 0.0142 ± 0.0020	0.7825	<0.01
饲养在 TN1 稻株 Maintained on TN1	在 TN1 上 on TN1	IR64，200N	a T_h	0.1370 ± 0.0088 0.0186 ± 0.0021	0.9487	<0.01
饲养在 TN1 稻株 Maintained on TN1	0NG2	IR64，0N	a T_h	0.3470 ± 0.0294 0.0156 ± 0.0019	0.9049	<0.01
饲养在 TN1 稻株 Maintained on TN1	200NG2	IR64，200N	a T_h	0.1608 ± 0.0085 0.0202 ± 0.0017	0.9653	<0.01
0NF2	0NG2	IR64，0N	a T_h	0.2825 ± 0.0153 0.0124 ± 0.0013	0.9493	<0.01
200NF2	200NG2	IR64，200N	a T_h	0.1310 ± 0.0067 0.0142 ± 0.0024	0.9552	<0.01

TN1：感虫水稻品种 Rice variety susceptive to BPH；0N，200N：施肥量分别为 0 kg N/ha 和 200 kg N/ha 的 IR64 稻株 IR64 rice plants applied with 0 kg N/ha and 200 kg N/ha，respectively；0NG2，200NG2：在施肥量分别为 0 kg N/ha 和 200 kg N/ha 的 IR64 稻株上连续饲养的第 2 代褐飞虱 Second generation of BPH populations successively maintained on IR64 rice plants with 0 kg N/ha and 200 kg N/ha applied，respectively；0NF2，200NF2：在施肥量分别为 0 kg N/ha 和 200 kg N/ha 的 IR64 稻株上连续饲养的第 2 代黑肩绿盲蝽 Second generation of *C. lividipennis* populations successively maintained on IR64 rice plants with 0 kg N/ha and 200 kg N/ha applied，respectively.

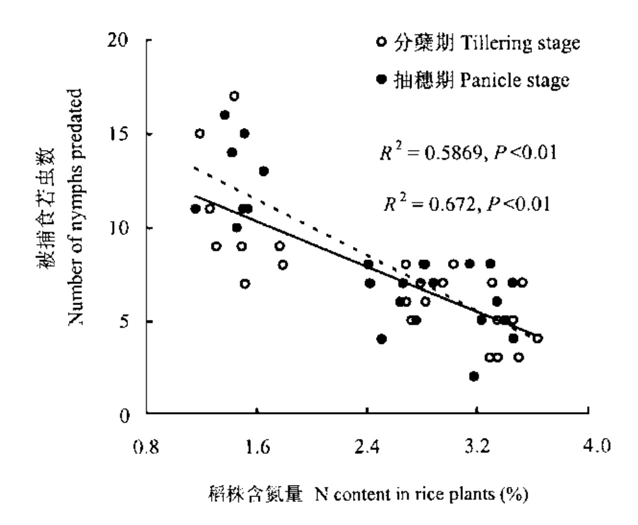


图 3　黑肩绿盲蝽在不同含氮量稻株上对褐飞虱若虫的捕食量

Fig. 3　The number of BPH nymphs predated by *C. lividipennis* on rice plants with different contents of nitrogen

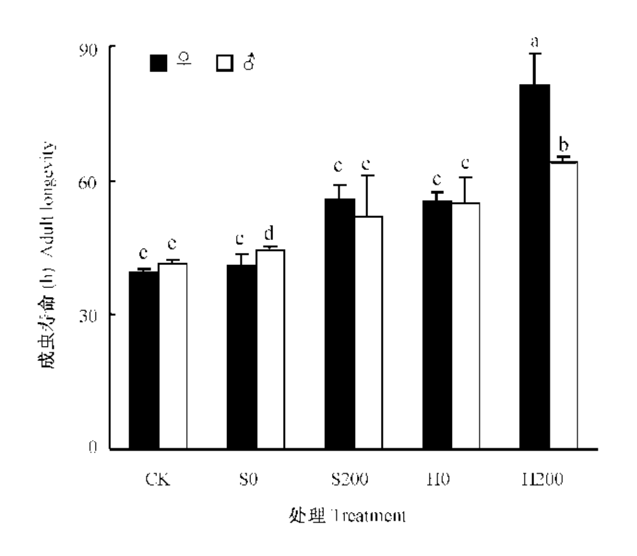


图 4　黑肩绿盲蝽成虫取食稻株伤流液和褐飞虱蜜露时的寿命

Fig. 4　Longevities of *C. lividipennis* adults feeding on the sap from rice plants wounded and honeydew from BPH female adults

CK：水 Water；S0：低氮稻株伤流液 Sap from 0N rice plant；
S200：高氮稻株伤流液 Sap from 200N rice plant；
H0：低氮稻株上的蜜露 Honeydew from BPH on 0N rice plant；
H200：高氮稻株上的蜜露 Honeydew from BPH on 200N rice plant.

表 3　不同黑肩绿盲蝽种群对褐飞虱若虫的捕食作用

Table 3　Predation of *C. lividipennis* populations on BPH nymphs in 10 days

	0NF2		200NF2	
	0N	200N	0N	200N
捕食量 Number of nymphs consumed in 10 days	11.5±3.1 A	8.0±1.4 B	11.7±2.6 A	8.5±2.6 B
捕食率 Predatory rate（%）	40.26±4.67 A	26.97±3.51 B	40.94±6.72 A	28.62±5.82 B

3　讨论

黑肩绿盲蝽是兼具植食性和捕食性的特殊种类，对它与植物之间关系的研究主要集中在寄主范围、抗性品种、Bt 水稻、稻株挥发性物质以及稻株伤

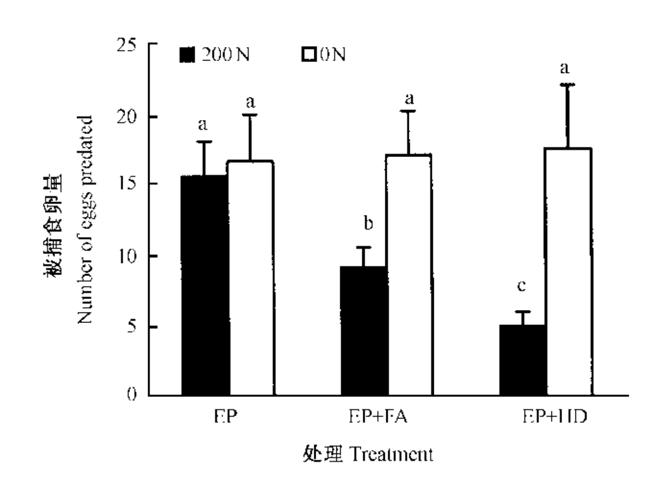


图 5 褐飞虱蜜露对黑肩绿盲蝽捕食褐飞虱卵能力的影响（24 h）

Fig. 5 Effect of honeydew from female adults of BPH on *C. lividipennis* predation on BPH eggs in 24 h

EP：有褐飞虱卵的水稻 Rice plant with BPH eggs；
FA：褐飞虱雌成虫 Female adult of BPH；
HD：褐飞虱蜜露 Honeydew from BPH female

流液等方面（Shepard *et al.*，1987；Senguttuvan and Gopalan，1990；Geetha *et al.*，1993；Yu *et al.*，1996；Matsumura and Suzuki，1999；Bernal *et al.*，2002；娄永根和程家安，2001；Lou and Cheng，2001），而对它与猎物的关系研究则着重于捕食选择性、对飞虱和叶蝉的捕食能力、功能反应以及与环境的关系等方面（Heong and Domigo，1992；陈建明等，1994；Laba and Heong，1996；Song and Heong，1997）。稻田施用氮肥以后不仅褐飞虱的密度增加，而且黑肩绿盲蝽的数量也明显增加，这表明两者间强烈的数量反应关系（Meerzainudeen and Kaeeem，1999；Preap *et al.*，2001），但黑肩绿盲蝽的捕食功能也可能因稻株形态、营养成分及其它次生物质含量的变化而受到影响（Walde，1995；Cortesero *et al.*，2000）。

黑肩绿盲蝽作为稻飞虱和叶蝉的主要捕食性天敌之一，它在稻株和飞虱之间关系的研究方面深受重视。在施用氮肥以后，IR64 稻株的形态学和组织学结构、生理学特性以及化学成份的变化，如叶冠增大、叶鞘变厚变软、稻株汁液及其氮含量增加等（吕仲贤，2003），改变了挥发性物质和其它信息，从而增强了稻株对黑肩绿盲蝽的吸引力，提高了它在高氮稻株上取食和产卵的比率（Lu *et al.*，2004a）。黑肩绿盲蝽对高氮稻株上褐飞虱卵的捕食选择性更能说明氮可以增强对黑肩绿盲蝽的吸引力（Lu *et al.*，2004a）。这可能与黑肩绿盲蝽既是植食者又是捕食者的特性有关，因为它在接近潜在的寄主植物时可以利用两种信息渠道，从而提高了对信息的利用率，即使寄主植物上没有猎物存在时它也能以稻株的汁液为食并完成生活史。但是，黑肩绿盲蝽对高氮稻株的选择特性不利于对目标猎物的搜索和自然控制作用，田间稻株巨大的叶冠层和众多的信息源可能误导黑肩绿盲蝽对猎物的定向、搜索、接近和定位，从而降低了对目标猎物的捕食有效性。

黑肩绿盲蝽喜欢攻击产在稻株上部的褐飞虱卵（Song *et al.*，1995；Lu *et al.*，2004a），说明它对猎物的搜索是非随机的，在不同水稻品种上由于卵垂直分布型的不同而引起功能反应的差异更证明了这一结果（娄永根和程家安，2001）。褐飞虱在高氮稻株上主要将卵产在叶鞘底部，而在低氮稻株上则将卵产在叶鞘上部和叶片中脉内（吕仲贤等，2005）。因此，在低氮稻株上黑肩绿盲蝽容易在稻株上部发现猎物，而在高氮稻株上则由于上部猎物密度的减低而导致搜索效率迅速下降，从而削弱了黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的整体功能反应（图 2）。黑肩绿盲蝽在高氮稻株上对猎物搜索速率的下降还可能与稻株的营养成分和其它化学物质的干扰有关，如伤流液和褐飞虱蜜露等均会影响黑肩绿盲蝽的搜索和捕食能力（图 5），从而影响了黑肩绿盲蝽对目标猎物的搜索效率。对于在不同含氮量稻株上连续饲养的黑肩绿盲蝽种群，由于饲养的代数只有 2 代，其捕食的特性没有变化，所以在相同施肥量的稻株上黑肩绿盲蝽自身对褐飞虱卵和若虫的捕食能力无显著差异（表 1，3）。

在施用了过量氮肥的稻株上取食时，褐飞虱产的卵显著增大（未发表资料）、若虫历期缩短、体重增加（Lu *et al.*，2004b）。因此，对于在高氮稻株上的黑肩绿盲蝽而言，在捕食等量猎物的情况下，对褐飞虱卵或若虫的捕食量必定比在低氮水平稻株上时的捕食数量低。加上在高氮稻株上褐飞虱成虫分泌的蜜露量也明显增多，同样也可能使黑肩绿盲蝽在未发现猎物时获得足够食物，从而更降低了它们对目标猎物的捕食量。显然，稻田过量施用氮肥对黑肩绿盲蝽捕食功能的影响是多方面的，植株的形态学变化直接干扰了黑肩绿盲蝽对猎物的搜索效率，植株的生理学变化不仅间接影响其搜索效率而且还可以通过植食性昆虫生态适应性的增加而降低其捕食能力。因此，褐飞虱生态适应性的增强和天敌自然控制作用的下降是稻田过量施用氮肥后褐飞虱种群增加的两个主要原因。

参 考 文 献（References）

Bernal CC，Aguda RM，Cohen MB，2002. Effect of rice lines transformed with *Bacillus thuringiensis* toxin genes on the brown planthopper and its predator *Cyrtorhinus lividipennis*. *Entomol. Exp. Appl.*，102：21－28.

Chen JM，Cheng JA，He JH，1994. Effects of temperature and food on the development，survival and reproduction of *Cyrtorhinus lividipennis*. *Acta Entomol. Sin.*，37（1）：63－70.［陈建明，程家安，何俊华，1994. 温度和食物对黑肩绿盲蝽生长发育和生殖的影响. 昆虫学报，37(1)：63－70］

Cheng CH，1971. Effect of nitrogen application on the susceptibility in rice to brown planthopper attack. *J. Taiwan Agric. Res.*，20(3)：21－30.

Claridge MF，Morgan JC，Steenkiste AE，Iman M，Damyantl D，2002. Experimental field studies on predation and egg parasitism of rice brown planthopper in Indonesia. *Agric. Forest Entomol.*，4(3)：203－209.

Cohen JE，Schoenly K，Heong KL，Justo H，Arida G，Barrion AT，Litsing JA，1994. A food web approach to evaluating the effect of insecticide spraying on insect pest population dynamics in a Philippine irrigated rice ecosystem. *J. Appl. Ecol.*，31：747－763

Cortesero AM，Stapel JO，Lewis WJ，2000. Understanding and manipulating plant attributes to enhance biological control. *Biol. Control*，17：35－49

De Kraker J，Rabbinge R，Huis AV，lenteren JCV，Heong KL，2000. Impact of nitrogenous-fertilization on the population dynamics and natural control of rice leaffolder（Lep.：Pyralidae）. *Intl. J. Pest Management*，46：225－235.

Dyck VA，Thomas B，1979. The brown planthopper problem. In：IRRI ed. Brown Planthopper：Threat to Rice Production in Asia. IRRI，Philippines. 3－20.

Gallagher KD，Kenmore PE，Sogawa K，1994. Judicial use of insecticides deter planthopper outbreaks and extend the role of resistant varieties in Southeast Asian rice. In：Denno RF，Perfect TJ eds. Planthoppers Their Ecology and Management. Chapman & Hall，London. 559－614.

Geetha N，Gopalan M，Galasubramanian G，1993. Ovipositional behaviour of mirid bug，*Cyrtorhinus lividipennis* on rice and weeds. *J. Entomol. Res.*，17(1)：17－20.

Heinrichs EA，Basilio RP，Valencia SL，1984. Buprofezin，a selective insecticide for the management of rice planthoppers and leafhoppers. *Environ. Entomol.*，13：515－521.

Heong KL，Domingo I，1992. Shifts in predator-prey ranges in response to global warming. *IRRN*，17(6)：29－30.

Heong KL，Song YH，Pimamam S，Zhang R，Bae SD，1995. Global warning and rice arthropod communities. In：Peng S，Hardy B eds. Climate Change and Rice. Spring-Verlag，NY. 326－335.

Hu JZ，Lu QH，Yang JS，Yang LP，1986. Effects of fertilizer and irrigation on the population of main insect pests and the yield of rice. *Acta Entomol. Sin.*，29(1)：49－54.［胡建章，陆秋华，杨金生，杨丽萍，1986. 肥水管理对稻田主要害虫种群及产量的影响. 昆虫学报，29(1)：49－54］

Laba IW，Heong KL，1996. Predation of *Cyrtorhinus lividipennis* on eggs of planthoppers in rice. *Indonesian J. Crop Sci.*，11(2)：40－50.

Lou YG，Cheng JA，2001. Role of rice volatiles in the foraging behavior of *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter. *Entomol. Sin.*，8(3)：240－250.

Lou YG，Cheng JA，2001. Effect of rice varieties on functional responses of *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter. *Chinese J. Rice Sci.*，15(2)：158－160.［娄永根，程家安，2001. 水稻品种对黑肩绿盲蝽功能反应的影响. 中国水稻科学，15(2)：158－160］

Lu ZX，2003. Effects of nitrogenous fertilizer on the ecological fitness of brown planthopper，*Nilaparvata lugens*，and its relationships with natural enemies and rice. PhD Dissertation，Zhejiang University，Hangzhou，China. 132－140.［吕仲贤，2003. 氮肥对褐飞虱的生态适应性及其与水稻和天敌关系的影响. 浙江大学博士论文. 132－140］

Lu ZX，Yu XP，Hu C，2004a. Predatory behavior of mirid bug，*Cyrtorhinus lividipennis*，on rice plants with different nitrogen regimes. *IRRN*，29(2)：32－34

Lu ZX，Heong KL，Yu XP，Hu C，2004b. Effects of plant nitrogen on ecological fitness of the brown planthopper，*Nilaparvata lugens*，in rice. *J. Asia-Pacific Entomol.*，7(1)：97－104.

Lu ZX，Yu XP，Villareal S，Heong KL，Hu C，2005. Effects of nitrogen nutrient on the behavior of feeding and oviposition of the brown planthopper，*Nilaparvata lugens*，on IR64. *J. Zhejiang Univ.*（*Agriculture & Life Sciences*），31(1)：62－70.

Matsumura M，Suzuki Y，1999. Effects of prey species and honeydew feeding on development and reproduction of the mirid bug，*Cyrtorhinus lividipennis Reuter*. *Kyushu Pl. Prot. Res.*，45：63－67.

Matteson PC，2000. Insect pest management in tropic Asian irrigated rice. Annu. *Rev. Entomol.*，45：549－574.

Meerzainudeen M，Kareem AA，1999. Effect of biofertilizers on BPH（*Nilaparvata lugens*）and its biocontrol agents in rice ecosystem. VISTAS of Rice Research，Tamil Nadu Agricultural University，India. 469－474.

Preap V，Zalucki MP，Nesbitt HJ，Jahn GC，2001. Effect of fertilizer，pesticide treatment，and plant variety on the realized fecundity and survival rates of brown planthopper，*Nilaparvata lugens*，generating outbreaks in Cambodia. *J. Asia-Pacific Entomol.*，4(1)：75－84.

Schoenly，K，Cohen JE，Heong KL，Litsinger JA，Aquino，GB，Barrion AT，Arida G，1996. Food web dynamics of irrigated rice fields at five elevations in Luzon，Philippines. *Bull. Entomol. Res.*，86：451－466.

Senguttuvan T，Gopalan M，1990. Predator efficiency of mirid bugs（*Cyrtorhinus lividipennis*）on eggs and nymphs of brown planthopper（*Nilaparvata lugens*）on resistant and susceptible varieties of rice. *Indian J. Agric. Sci.*，60：285－287.

Shepard MB，Barrion AT，Litsinger JA，1987. Friends of the Rice Farmer：Helpful Insects，Spiders，and Pathogens. IRRI. 26.

Simpson IC，Roger PA，Oficial R，1994. Effects of nitrogen fertilizer and pesticide management on floodwater ecology in wetland ricefield：II dynamics of microcrustaceans and dipteran larvae. *Biol. Fertilizer and Soils*，17：138－146.

Song YH，Ha TK，Chung DY，1995 The predatory behavior of green mirid bug *Cyrtorhinus lividipennis* on brown planthopper eggs in different temperature conditions. *Korean J. Appl. Entomol.* 34：234－242.

Song YH, Heong KL, 1997. Changes in searching responses with temperature of *Cyrtorhinus lividipennis* on the eggs of brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Res. Popul. Ecol.*, 39: 201 – 206.

Symondson WOC, Sunderland KD, Greenstone MH, 2002. Can generalist predators be effective biocontrol agents? Annu. *Rev. Entomol.*, 47: 561 – 594.

Walde SJ, 1995. How quality of host plant affects a predator-prey interaction in biological control. *Ecology*, 76(4): 1 206 – 1 219.

Way MJ, Heong KL, 1994. The role of biodiversity in the dynamics and management of insect pests of tropic irrigated rice: a view. *Bull. Entomol. Res.*, 84: 567 – 587.

Yu XP, Heong KL, Hu C, 1996. Effects of various non-rice hosts on the growth, reproduction and predation of mirid bug, *Cyrtorhinus lividipennis*. In: Hamid AA, Yeang LK, Sadi T eds. Integrating Science and People in Rice Pest Management. Proceedings of the Rice Integrated Pest Management Conference, 18 – 22 Nov. 1996, Kuala Lumpur, Malaysia. 56 – 63.

（责任编辑：袁德成）